

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
10. Mai 2002 (10.05.2002)

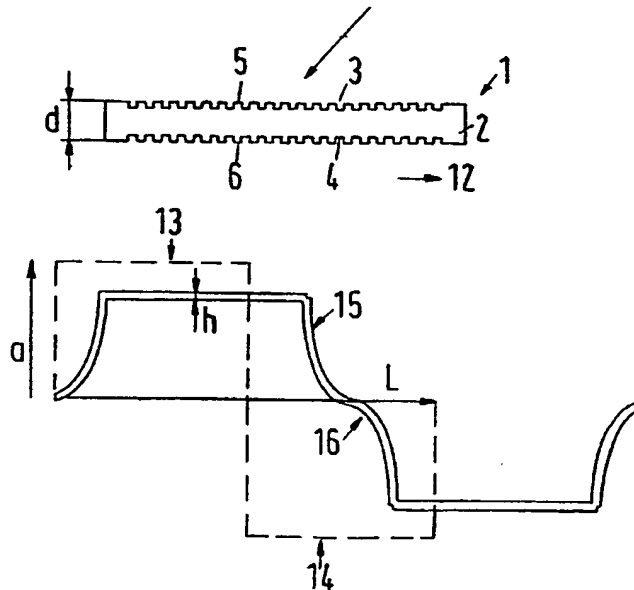
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**PCT WO 02/37660 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H02N 1/00, (72) Erfinder; und  
B81B 3/00 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GRAVESEN, Peter  
[DK/DK]; Hyldebærvej 6, DK-6430 Nordborg (DK).  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DK01/00719 BENSLIMANE, Mohamed, Yabia [DZ/DK]; Egevej 76,  
DK-6430 Nordborg (DK).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 31. Oktober 2001 (31.10.2001) (74) Gemeinsamer Vertreter: DANFOSS A/S;  
Patentabteilung, DK-6430 Nordborg (DK).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (81) Bestimmungsstaaten (national): AM, AT, AU, BA, BG,  
BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE,  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch HR, HU, IL, IN, IS, JP, KR, KZ, LT, LU, LV, MD, MK,  
MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SE, SG, SI, SK, TR, UA,  
(30) Angaben zur Priorität: 100 54 247.6 2. November 2000 (02.11.2000) DE US, UZ, VN, YU, ZA.  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von (84) Bestimmungsstaaten (regional): eurasisches Patent (AM,  
US): DANFOSS A/S [DK/DK]; DK-6430 Nordborg (DK). AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ACTUATING MEMBER AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME

(54) Bezeichnung: BETÄTIGUNGSELEMENT UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG



(57) Abstract: The invention relates to an actuating member comprising an elastomer body that is provided with one electrode each on opposite peripheries. The aim of the invention is to improve the dynamism of such an actuating member. To this end, at least one periphery is provided with at least one waved section that comprises elevations (13) and depressions (14) as the extremes disposed in parallel to the cross direction. Said section is covered by an electrode that completely covers at least a part of the extremes (13, 14) and that extends across the waved section.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/37660 A1

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## — mit internationalem Recherchenbericht

**(57) Zusammenfassung:** Es wird ein Betätigungselement angegeben mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüberliegenden Begrenzungsflächen mit jeweils einer Elektrode versehen ist. Hierbei möchte man die Dynamik verbessern können. Hierzu weist mindestens eine Begrenzungsfläche mindestens einen gewellten Bereich mit parallel zur Querrichtung verlaufenden Höhen (13) und Tiefen (14) als Extreme auf, der von einer Elektrode bedeckt ist, die zumindest einen Teil der Extreme (13, 14) vollständig abdeckt und im übrigen über den gewellten Bereich zusammenhängt.

-1-

Betätigungselement und Verfahren zu seiner Herstellung

Die Erfindung betrifft ein Betätigungselement mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüberliegenden Begrenzungsflächen mit jeweils einer Elektrode versehen ist. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen eines Betätigungselements mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten mit Elektroden versehen wird.

10 Ein derartiges Betätigungselement ist aus US 5 977 685 bekannt.

Derartige Betätigungselemente werden auch kurz als "künstliche Muskeln" bezeichnet, weil ihr Verhalten unter gewissen Bedingungen dem von menschlichen Muskeln entspricht.

Die Funktionsweise ist relativ einfach. Wenn eine Spannungsdifferenz an die beiden Elektrode angelegt wird, entsteht ein elektrisches Feld durch den Körper hindurch, wobei das elektrische Feld mechanische Anziehungskräfte zwischen den Elektroden erzeugt. Dies führt zu einer Annäherung der beiden Elektrodenanordnungen und damit verbunden zu einer Kompression des Körpers.

20 Die Annäherung kann noch unterstützt werden, wenn das Material des Körpers dielektrische Eigenschaften hat.

25 Da das Material aber ein im wesentlichen konstantes Vo-

-2-

lumen hat, führt das Zusammendrücken, also das Vermindern der Dicke, zu einer Vergrößerung der Abmessungen des Körpers in den anderen beiden Richtungen, d.h. parallel zu den Elektroden.

5

Wenn man nun die Dehnbarkeit des Körpers auf eine Richtung beschränkt, dann wird die Dickenänderung vollständig in eine Längenänderung in die andere Richtung umgesetzt. Für die nachfolgende Erläuterung wird die Richtung, in der die Längenveränderung erfolgen soll, als "Längsrichtung" bezeichnet. Die Richtung, in der eine Längenänderung nicht erfolgen soll, wird als "Querrichtung" bezeichnet. Im bekannten Fall weist die Elektrode eine leitende Schicht mit einer relativ niedrigen Leitfähigkeit auf, auf die in Querrichtung verlaufende Streifen aus einem nicht nachgiebigen Material aufgetragen sind, wobei die Streifen in Längsrichtung einen Abstand zueinander aufweisen. Die leitfähige Schicht soll für eine möglichst gleichförmige Verteilung des elektrischen Feldes sorgen, während die Streifen, vorzugsweise aus einem Metall, die Ausbreitung des Körpers in Querrichtung verhindern sollen. Allerdings ergibt sich hierbei aufgrund der schlechten Leitfähigkeit der elektrisch leitenden Schicht eine gewisse Begrenzung bei der Dynamik.

30

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die mechanische Dehnbarkeit eines Betätigungselements zu verbessern.

-3-

- Diese Aufgabe wird bei einem Betätigungselement der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß mindestens eine Begrenzungsfläche mindestens einen gewellten Bereich mit parallel zur Querrichtung verlaufenden Höhen und Tiefen als Extreme aufweist, der von einer Elektrode bedeckt ist, die zumindest einen Teil der Extreme vollflächig abdeckt und im übrigen über den gewellten Bereich zusammenhängt.
- 10 Mit dieser Ausgestaltung erreicht man mehrere Vorteile: Da die Elektrode in Querrichtung durchgehend ausgebildet ist, begrenzt sie die Dehnbarkeit des Körpers in diese Querrichtung. "Durchgehend" soll hierbei bedeuten, daß die Elektrode eine Form hat, die nicht noch  
15 gestreckt werden kann, beispielsweise eine gerade Linie. Die gesamte Verformung, die sich bei einer Verringerung der Dicke des Körpers ergibt, wird in eine Änderung der Ausdehnung in Längsrichtung umgesetzt. Natürlich wird sich in der Praxis aufgrund von realen Materialien auch eine kleine Änderung in Querrichtung ergeben. Diese ist jedoch verglichen mit der Änderung der Ausdehnung in Längsrichtung vernachlässigbar. Da sich  
20 die Elektrode zusammenhängend über den gesamten gewellten Bereich erstreckt, wird sichergestellt, daß die  
25 elektrische Leitfähigkeit der Elektrode groß genug ist, so daß der Aufbau des elektrischen Feldes, das zur Verringerung der Dicke des Körpers erforderlich ist, schnell erfolgen kann. Man kann daher mit dem Betätigungselement durchaus hohe Frequenzen realisieren. Da  
30 die Oberfläche des Körpers zumindest in einem vorgegebenen Bereich gewellt ist und die Wellung parallel zur

-4-

Querrichtung verläuft, steht in Längsrichtung eine Oberfläche zur Verfügung, die zumindest im Ruhezustand des Betätigungselements wesentlich größer als die Längserstreckung des Betätigungselements ist. Wenn man  
5 daher die Längserstreckung des Betätigungselements vergrößert, dann wird lediglich die Wellung abgeflacht, d.h. der Unterschied zwischen den Extremen, mit anderen Worten den Spitzen der Höhen und den Tälern der Tiefen, werden kleiner. Einer Elektrode, die auf diese Oberflä-  
10 che aufgebracht ist, kann dementsprechend einer Streckung problemlos folgen, ohne daß die Gefahr besteht, daß die Elektrode von der Oberfläche abgelöst wird. Durch die gewellte Oberfläche erzielt man also eine hervorragende Steifigkeit in der Querrichtung, eine gu-  
15 te Nachgiebigkeit in der Längsrichtung und eine einfach zu realisierende Möglichkeit, die elektrische Spannungsversorgung zum Aufbau des elektrischen Feldes gleichmäßig über die gesamte Oberfläche des Körpers verteilen zu lassen. Der Ausdruck "gewellt" muß nicht  
20 heißen, daß es sich hier um bogenförmige oder sinusförmige Konturen handelt. Im Grunde genommen ist hierbei jede Struktur denkbar und zulässig, bei der sich "Berge" mit "Tälern" abwechseln, wobei sich die Berge und die Täler in Querrichtung erstrecken, d.h. in eine  
25 Richtung, die unter einem rechten Winkel zur Ausdehnungsrichtung verläuft. Im Querschnitt kann es sich also um eine Sinuswelle, eine Dreieckswelle, eine Sägezahnwelle, eine Trapezwelle oder eine Rechteckwelle handeln. Die Dehnbarkeit wird verbessert, ohne die Dy-  
30 namik des Betätigungselements zu beeinträchtigen.

-5-

Vorzugsweise deckt die Elektrode den gewellten Bereich vollflächig ab. Man verwendet also eine Flächenelektrode, so daß sich die elektrischen Ladungen an jeden Punkt der Begrenzungsfläche des Körpers begeben können, 5 so daß der Aufbau des elektrischen Feldes gleichmäßig wird. Gleichzeitig läßt sich die Steifigkeit in Querrichtung weiter verbessern, weil nicht nur die Extreme, also die Kuppen der Berge und die Sohlen der Täler, mit der durchgehenden Elektrode abgedeckt sind, 10 sondern auch die Flanken zwischen den Bergen und Tälern. An der Beweglichkeit in Längsrichtung ändert sich allerdings nichts. Wenn sich der Körper in Längsrichtung ausdehnt, dann werden die Konturen flacher, ohne daß sich zwischen der Zuordnung der Elektrode und dem 15 Körper etwas ändern muß.

Hierbei ist besonders bevorzugt, daß die Elektrode unmittelbar mit dem Körper verbunden ist. Eine zusätzliche leitfähige Schicht ist ohnehin nicht erforderlich, 20 weil die Elektrode die elektrische Leitung für die gesamte Begrenzungsfläche übernimmt. Wenn die Elektrode unmittelbar mit dem Körper verbunden ist, ist die Einflußnahme der Elektrode auf den Körper besser, was sich insbesondere in einer verbesserten Steifigkeit 25 oder Nicht-Dehnbarkeit in Querrichtung äußert.

Vorzugsweise weisen die Extreme Amplituden auf, die nicht größer sind als 20% der Dicke des Körpers zwischen den Begrenzungsflächen. Mit dieser Bemessungsan- 30 gabe erreicht man eine gleichförmige Verteilung des elektrischen Feldes über die Länge des Betätigungsele-

-6-

ments, d.h. die Kräfte wirken gleichmäßig auf den Körper, ohne daß sie sich in besonders ausgeprägten Streifen konzentrieren. Unter Amplitude wird hierbei die Hälfte des Unterschieds zwischen benachbarten Extremen verstanden, d.h. die Hälfte des Abstandes zwischen einer Höhe und einer Tiefe.

Vorzugsweise weist die Elektrode eine Stärke auf, die maximal 10% der Amplitude beträgt. Der Dehnbarkeitsfaktor (Compliance factor) Q eines Betätigungselements ist direkt proportional zum Verhältnis zwischen Amplitude und Stärke der Elektrode. Je größer dieses Verhältnis ist, desto größer ist der Dehnbarkeitsfaktor.

Vorzugsweise liegt das Verhältnis zwischen Amplitude und Periodenlänge im Bereich von 0,08 bis 0,25. Das Verhältnis zwischen Amplitude und Periodenlänge hat eine Auswirkung auf die Länge der Oberfläche einer Periode. Je größer die Länge der Oberfläche ist, desto größer ist im Grunde die Dehnbarkeit. Theoretisch könnte man den Körper dehnen, bis die Oberfläche glatt ist, ohne daß die Elektrode dieser Oberfläche darunter leidet. In der Praxis wird die Dehnbarkeit natürlich noch durch andere Parameter begrenzt.

Vorzugsweise weist der gewellte Bereich ein Rechteckprofil auf. Man hat beobachtet, daß sich ein Rechteckprofil am besten in Längsrichtung dehnen läßt. Man führt dies darauf zurück, daß die Elektrode der Oberfläche eine gewisse Steifigkeit auch in Längsrichtung verleiht. Beispielsweise kann man sich bei einem Recht-



-7-

eck vorstellen, daß die parallel zur Längserstreckung  
liegenden Teile des Rechteckprofils auf den Höhen und  
in den Tiefen selbst nicht gedehnt werden können. Die  
Dehnung des Körpers findet also praktisch ausschließ-  
5 lich über die Vergrößerung der Neigung der Flanken und  
die damit verbundene Verringerung der Amplitude statt.

Vorzugsweise weist das Rechteckprofil Zähne und Zahnlü-  
cken auf, die in Längsrichtung gleich lang sind. Dies  
10 ermöglicht, daß sich das elektrische Feld möglichst  
gleichmäßig ausbildet. Gleichzeitig erleichtert diese  
Gestaltung die Fertigung.

Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs ge-  
15 nannten Art dadurch gelöst, daß ein Elastomer in einer  
Form mit einem gewellten Oberflächenprofil zu einem  
Film gepreßt wird, den man so kurz aushärten läßt, daß  
er noch formbar bleibt, dann eine weitere Form mit ei-  
ner gewellten Oberfläche gegen die andere Seite des  
20 Filmes preßt und nach Ausbilden der Oberflächenformen  
eine leitende Schicht auf die Oberfläche aufträgt.

Eine derartige Herstellung ist relativ einfach. Eine  
Elektrodenbearbeitung kann im Grunde entfallen. Es ist  
25 lediglich erforderlich, die gewünschte Oberflächen-  
struktur zu erzeugen. Eine derartige Oberflächenstruk-  
tur wird durch das Formpressen erzeugt. Hierzu ist es  
lediglich erforderlich, Formen mit entsprechenden  
Strukturen bereit zu stellen. Derartige Formen lassen  
30 sich durch bekannte photolithographische Prozesse er-

-8-

zielen, wie sie beispielsweise von der Herstellung von Kompaktdiscs (CD's) bekannt ist.

Hierbei ist besonders bevorzugt, daß die leitende  
5 Schicht aufgedampft wird. Eine aufgedampfte Schicht  
läßt sich mit der gewünschten kleinen Dicke realisieren. Man kann darüber hinaus sicher stellen, daß der Dampf auch in enge Täler eindringen und dort eine Elektrode bilden kann.

10

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung näher beschrieben. Hierin zeigen:

15 Fig. 1 eine schematische Ansicht mit verschiedenen Verfahrensschritten zum Herstellen eines Betätigungselements,

Fig. 2 eine Schnittansicht durch eine Periode,

20

Fig. 3 eine Kurve zur Verdeutlichung von Verhältnissen bei einem Sinusprofil und

Fig. 4 die gleiche Kurve zur Verdeutlichung von Verhältnissen bei einem Rechteckprofil.  
25

Fig. 1 zeigt verschiedene Schritte zum Herstellen eines Betätigungselements 1 mit einem Körper 2, der zwei Begrenzungsflächen 3, 4 aufweist, die einander gegenüberliegen.  
30 liegen. Auf beiden Begrenzungsflächen 3, 4 ist jeweils eine Elektrode 5, 6 angebracht. Die Elektrode 5, 6 ist

unmittelbar mit dem Körper 2 verbunden. Der Körper ist aus einem Elastomermaterial, beispielsweise einem Silikonelastomer, gebildet und hat vorzugsweise dielektrische Eigenschaften. Das Material des Körpers 2 ist zwar  
5 verformbar. Es weist aber eine Volumenkonstanz auf, d.h. wenn man es in Richtung der Dicke  $d$  des Körpers 2 zusammendrückt, dann erfolgt eine Vergrößerung der Ausdehnung des Körpers 2 in die beiden anderen Richtungen. Wenn man nun die Ausdehnung des Körpers 2 in eine Rich-  
10 tung begrenzt, dann führt eine Verminderung der Dicke  $d$  ausschließlich zu einer Vergrößerung der Ausdehnung des Körpers 2 in die andere Richtung. Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 soll die Ausdehnungsmöglichkeit senkrecht zur Zeichenebene (Querrichtung) beschränkt  
15 sein oder sogar ganz unterbunden werden können. In der Richtung von links nach rechts (bezogen auf Fig. 1), d. h. der Längsrichtung soll hingegen eine Ausdehnung möglich sein. Dieses anisotrope Verhalten wird dadurch erreicht, daß die beiden Begrenzungsflächen 3, 4 des Kör-  
20 pers 2 eine gewellte Struktur aufweisen. In Fig. 1 ist diese gewellte Struktur als Rechteckprofil dargestellt. Es ist aber auch möglich, daß die gewellte Struktur durch ein Sinusprofil, ein Dreiecksprofil, ein Sägezahnprofil oder ein Trapezprofil gebildet wird.  
25  
Es liegt ohne weiteres auf der Hand, daß eine undeformbare Elektrode 5, 6, die unmittelbar und damit fest mit dem Körper 2 verbunden ist, eine Ausdehnung des Körpers 2 senkrecht zur Zeichenebene verhindert, wenn der Kör-  
30 per 2 in Richtung seiner Dicke  $d$  zusammengedrückt wird. Eine Ausdehnung senkrecht zur Zeichenebene würde vor-

-10-

aussetzen, daß auch die Elektroden 5, 6 in diese Richtung dehnbar sind, was definitionsgemäß nicht der Fall ist. Das Zusammendrücken des Körpers erfolgt dadurch, daß die Elektroden 5, 6 mit einer Spannungsdifferenz

5 beaufschlagt werden, so daß sich ein elektrisches Feld zwischen den beiden Elektroden 5, 6 ausbildet, das wiederum Kräfte ausübt, die dazu führen, daß die beiden Elektroden 5, 6 aneinander angezogen werden. Mit einer Voraussetzung hierbei ist, daß der Körper 2 nicht zu

10 dick ist. Vorzugsweise bewegt sich die Dicke  $d$  des Körpers 2 im Bereich von wenigen bis einigen 10  $\mu\text{m}$ .

Die untenstehende Tabelle zeigt typische Werte für Elektrodenschichten und Elastomere sowie typische Werte

15 der Aktivierungsspannung eines Betätigungselements.

Elastomer Dielektrische Konstante	Elasto- mer- Dicke	Elastomer Elastizitäts- Modul	Elektroden- Dicke	Elektrode Elastizitäts- Modul	Elektroden- Fläche	Elektroden- Widerstand	Aktivierungs- spannung
[ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[MPa]	[Å]	[GPa]	[ $\text{cm}^2$ ]	[K $\Omega$ ]	[V]
2 - 6	10 - 100	0,3 - 10	100 - 5000	1 - 80	1 - 10000	0,05 - 1000	100 - 5000

Im folgenden betrachten wir einen 20  $\mu\text{m}$  dicken Silikon-

Elastomerfilm mit einem Elastizitätsmodul von 0,7 MPa

20 und einer Dielektrizitäts-Konstante von 3. Die Elektroden sind aus Gold und haben eine Dicke von 0,05  $\mu\text{m}$  sowie einen Elastizitätsmodul von 80000 MPa. Die Kapazität eines solchen Betätigungselements beträgt

0,1 nF/ $\text{cm}^2$ , und die Sprungantwort liegt in der Größen-

25 ordnung von Mikrosekunden für das nichtbelastete Betätigungselement. Wenn man einen Dehnbarkeitsfaktor der

-11-

Elektrode von 4000 annimmt, sind 1000 V nötig, um eine Verlängerung in der Größenordnung von 10% zu erzeugen, wogegen eine Verlängerung von weniger als 0,05 % im Falle einer undehbaren Elektrode erzeugt wird, d.h. einer Elektrode mit einem Dehnbarkeitsfaktor von 1. Mit anderen Worten macht es die Erfindung möglich, die Aktivierungsspannung zu senken.

Das Herstellen eines derartigen Körpers 2 ist relativ einfach. Eine Form 7 mit einer entsprechenden negativen gewellten Struktur, hier eine Rechteckstruktur, wird mit einer Elastomerlösung beschichtet, um einen dünnen Film von typischer Weise 20 bis 30  $\mu\text{m}$  Dicke zu bilden. Der Film 9 wird dann für eine kurze Zeit gehärtet, so daß er eine relativ weiche Schicht bildet, die immer noch geformt werden kann. Daraufhin wird eine zweite Form 10 mit einer entsprechenden Oberflächenstruktur 11 auf die andere Seite des elastomeren Films 9 gepreßt, wobei beide Pressvorgänge unter Vakuum erfolgen, um das Einschließen von Luft an den Berührungsflächen zwischen Form und Film zu verhindern. Die gesamte Sandwichanordnung aus Film 9 und Formen 7, 10 wird dann komplett ausgehärtet. Wenn die Formen 7, 10 mechanisch entfernt werden, hat der Film 9 die dargestellten gewellten Begrenzungsflächen 3, 4. Abschließend kann praktisch jede leitfähige Schicht auf die gewellten Begrenzungsflächen 3, 4 aufgetragen werden. Beispielsweise kann eine Metallschicht aus Gold, Silber oder Kupfer aufgedampft werden.

30

-12-

Die Auswirkung der gewellten Oberflächenstruktur ergibt sich aus der schematischen Darstellung der Fig. 2. Mit gestrichelten Linien dargestellt ist ein Rechteckprofil in der Ruhestellung, d.h. ohne Anlegen einer elektrischen Spannung an die Elektroden 5, 6. Das Rechteckprofil weist eine Amplitude  $a$  und eine Periodenlänge  $L$  auf. Die Stärke der leitfähigen Schicht 5 beträgt  $h$ . Als Amplitude wird hierbei die Hälfte des Unterschieds zwischen einer Höhe 13 und einer Tiefe 14 angesehen, die man auch als "Berg" und "Tal" bezeichnen kann. Zusammengefaßt werden beide Begriffe als "Extreme" bezeichnet. Wie aus Fig. 1 und 2 zu erkennen ist, haben die Höhe 13 und die Tiefe 14 in Längsrichtung 12 die gleiche Ausdehnung. Die Längsrichtung 12 verläuft in der Fig. 2 von links nach rechts.

Mit durchgezogenen Linien dargestellt ist die Form des Rechteckprofils, wenn sich der Körper in Längsrichtung 12 vergrößert hat. Da das Material des Körpers 2 ein konstantes Volumen besitzt, bedeutet eine Ausdehnung in Längsrichtung 12 gleichzeitig, daß sich das Profil in Dickenrichtung abflacht, wobei die Dickenverminderung zur Verdeutlichkeit übertrieben groß dargestellt ist. Dieses Profil ist nun mit durchgezogenen Linien dargestellt.

Es ist zu erkennen, daß sich das Profil im Bereich der Höhe 13 und der Tiefe 14 praktisch nicht verlängert hat. Eine Verlängerung des Körpers 2 ist daher nur an den Flanken 15, 16 möglich und zwar ohne, daß sich die

-13-

Elektroden, die dort befestigt sind, irgendwie dehnen müssen.

Man kann nun verschiedene Relationen festlegen, die besonders vorteilhafte Eigenschaften aufweisen.

So bestimmt das Verhältnis zwischen der Amplitude  $a$  des Profils und der Dicke  $h$  der leitenden Beschichtung, die die Elektrode 5, 6 bildet, die Dehnbarkeit der gewellten Elektrode und damit die Ausdehnbarkeit des Körpers 2. Für gewellte Profile ist ein Dehnbarkeitsfaktor  $Q$  direkt proportional zu dem Quadrat dieses Verhältnisses. Durch die Optimierung dieses Verhältnisses ist es theoretisch möglich, die Dehnbarkeit um einen Faktor 10.000 und darüber hinaus zu steigern. Wenn man beispielsweise eine Beschichtungsdicke von  $0,02 \mu\text{m}$  und eine Amplitude von  $2 \mu\text{m}$  hat, ist das Verhältnis 100 und der Dehnbarkeitsfaktor ist 10.000.

Für ein Rechteckprofil, wie es in Fig. 2 dargestellt ist, läßt sich der Dehnbarkeitsfaktor  $Q$  leicht aus der Biegestabtheorie berechnen.

$$Q = 16 \frac{a}{L} \left( \frac{a}{h} \right)^2 = 16 \nu \left( \frac{a}{h} \right)^2, \text{ worin } \nu = \frac{a}{L} \text{ ist.}$$

Für sinus- oder dreieckförmige Profile gilt im Grunde das gleiche, wobei der konstante Faktor (16 für das Rechteckprofil) für die Sinus- oder Dreieckprofile kleiner ist. Weiterhin muß man das Verhältnis zwischen der Gesamtlänge  $s$  einer Periode des Profils und der Länge  $L$  der Periode selbst in Betracht ziehen. Die Län-

-14-

ge  $s$  ergibt sich, wenn man das Profil "gerade zieht".  
Im Fall eines Rechteckprofils ergibt sich die Länge  $s = L + 4a$ . Wenn das Verhältnis  $s/L$  dicht an 1 ist, dann wird sich das Betätigungselement nicht sehr stark bewegen, selbst wenn die Elektrode sehr nachgiebig ist.

In den Fig. 3 und 4 sind nach rechts das Verhältnis zwischen der Amplitude  $a$  und der Periodenlänge  $L$  und nach oben das Verhältnis  $100\% \times (s-L)/L$  aufgetragen und  
10 zwar in Fig. 3 für ein Sinusprofil und in Fig. 4 für ein Rechteckprofil. In der Praxis benötigt man eine maximale Verlängerung von 20% bis 50%, damit sich ein "künstlicher Muskel" um 10% bis 25% bewegt. Das bedeutet, daß sich das Verhältnis  $v = a/L$  im Bereich von 0,1  
15 bis 0,2 bewegen sollte, wenn man ein Rechteckprofil verwendet.

Theoretisch könnte man mit einem Sinusprofil eine Verlängerung von ca. 32% und mit einem Rechteckprofil von  
20 ungefähr 80% erreichen. In der Praxis wird dies allerdings nicht der Fall sein, weil beispielsweise das Rechteckprofil aus vertikalen und horizontalen Abschnitten besteht, wobei lediglich erstere zur Nachgiebigkeit oder Dehnbarkeit beitragen. Die horizontalen  
25 Abschnitte der Elektrode selbst werden nicht gedehnt.

In einem praktischen Ausführungsbeispiel stellt man eine Form 7 mit Hilfe von Photolithographie her, indem man einen positiven Photoresist belichtet und entwi-  
30 ckelt. In diesem Fall ist die zum Belichten verwendete Maske relativ einfach. Sie besteht aus parallelen



-15-

- Rechtecken mit einer Breite von 5  $\mu\text{m}$  und einer Länge, die durch die Größe des Substrats bestimmt ist. Die Rechtecke sind gleichförmig um 5  $\mu\text{m}$  beabstandet und werden in Ausdehnungsrichtung vervielfacht. Die Höhe
- 5 des Profils, d.h. die Amplitude, wird definiert als die Hälfte der Dicke der Photoresistschicht, die auf dem Substrat niedergeschlagen wird. Auch diese Höhe kann zu ungefähr 5  $\mu\text{m}$  gewählt werden.
- 10 Für ein gleichförmiges elektrisches Feld ist es allerdings vorteilhaft, wenn die Amplitude mindestens 10 mal kleiner ist, als die Dicke d des Körpers 2. Für einen Elastomerfilm mit einer Dicke von 20  $\mu\text{m}$  wählt man zweckmäßigerweise eine Amplitudenhöhe von maximal 2  $\mu\text{m}$ .

15

Patentansprüche

1. Betätigungselement mit einem Körper aus einem  
5 Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüber-  
liegenden Begrenzungsflächen mit jeweils einer  
Elektrodenanordnung versehen ist, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß mindestens eine Begrenzungsfläche (3,  
10 4) einen gewellten Bereich mit parallel zur Quer-  
richtung verlaufenden Höhen (13) und Tiefen (14)  
als Extreme aufweist, der von einer Elektrode (5,  
6) bedeckt ist, die zumindest einen Teil der Extre-  
me (13, 14) vollflächig abdeckt und im übrigen über  
15 den gewellten Bereich zusammenhängt.
2. Betätigungselement nach Anspruch 1, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Elektrode (5, 6) den gewellten  
Bereich vollflächig abdeckt.
- 20 3. Betätigungselement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch  
gekennzeichnet, daß die Elektrode (5, 6) unmittel-  
bar mit dem Körper (2) verbunden ist.
4. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis  
25 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Extreme (13, 14)  
Amplituden (a) aufweisen, die nicht größer sind als  
20% der Dicke (d) des Körpers (2) zwischen den Be-  
grenzungsflächen (3, 4).
- 30 5. Betätigungselement nach Anspruch 4, dadurch gekenn-  
zeichnet, daß die Elektrode (5, 6) eine Stärke (h)

-17-

aufweist, die maximal 10% der Amplitude (a) beträgt.

- 5 6. Betätigungselement nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis zwischen Amplitude (a) und Periodenlänge (L) im Bereich von 0,08 bis 0,25 liegt.
- 10 7. Betätigungselement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der gewellte Bereich ein Rechteckprofil aufweist.
- 15 8. Betätigungselement nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Rechteckprofil Zähne und Zahn-  
lücken aufweist, die in Längsrichtung (12) gleich lang sind.
- 20 9. Verfahren zum Herstellen eines Betätigungselement mit einem Körper aus einem Elastomermaterial, der auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten mit Elektroden versehen wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein Elastomer in einer Form (7) mit einem gewellten Oberflächenprofil (8) zu einem Film (9) gepreßt wird, den man so kurz aushärten läßt, daß  
25 er noch formbar bleibt, dann eine weitere Form (10) mit der gewellten Oberfläche (11) gegen die andere Seite des Films (9) preßt und nach Ausbilden der Oberflächenstruktur eine leitende Schicht auf die Oberfläche aufträgt.

30

-18-

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,  
daß die leitende Schicht aufgedampft wird.

1/1

Fig.1

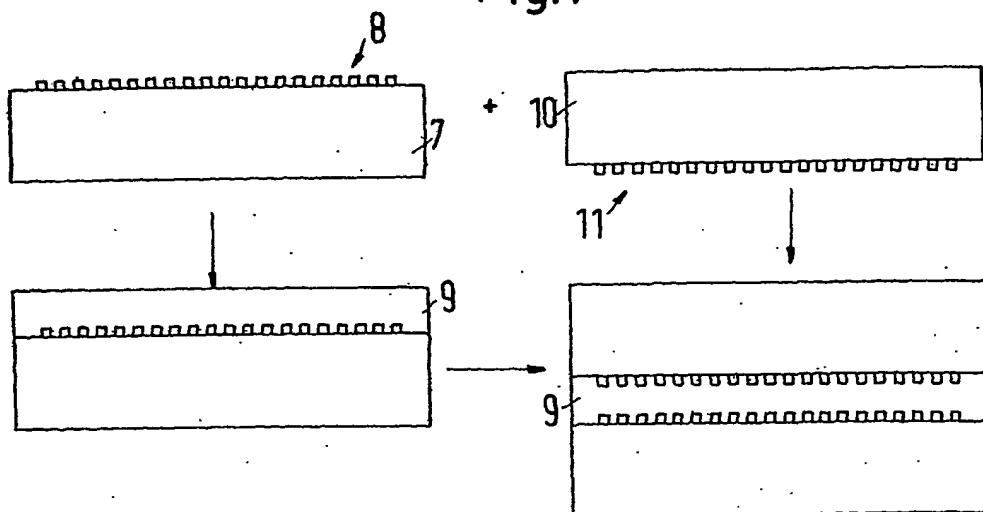


Fig.2

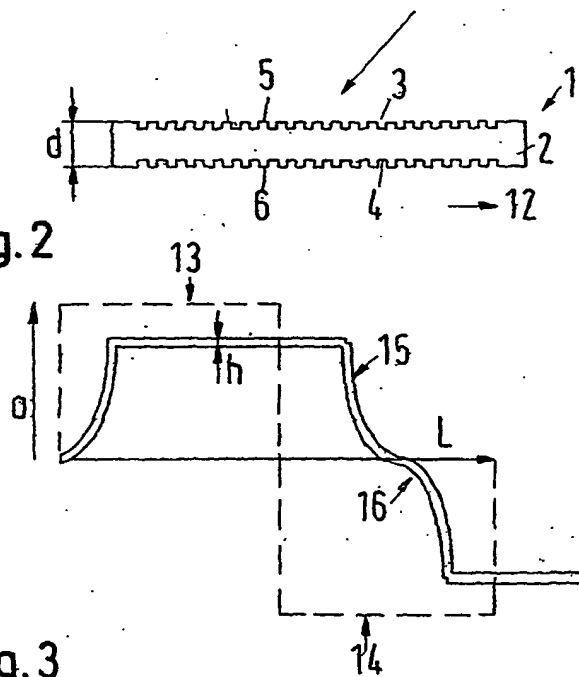


Fig.3

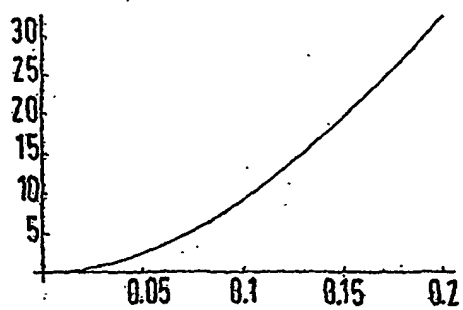
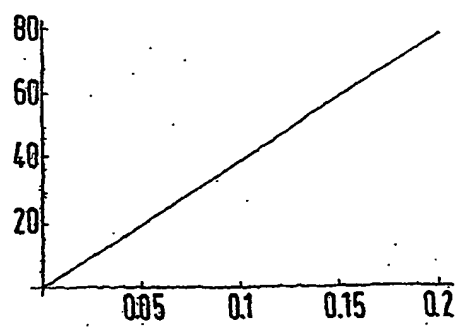


Fig.4



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DK 01/00719

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC7: H02N 1/00, B81B 3/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC7: H01L, H02N, B81B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
WPI DATA, EPO INTERNAL		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 9634701 A1 (THE UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA), 7 November 1996 (07.11.96), figure 4, abstract	1-10
	--	
A	US 5977685 A (Y. KURITA ET AL.), 2 November 1999 (02.11.99), column 1, line 33 - column 2, line 22, figures	1-10
	-- -----	
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
25 January 2002 (25.01.02)		15 February 2002 (15.02.02)
Name and mailing address of the ISA/		Authorized officer
European Patent Office		
Facsimile No.		Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/DK 01/00719

Patent document cited in search report			Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO	9634701	A1	07/11/96	AU	5394596 A	21/11/96
				CA	2218876 A	07/11/96
				CN	1047107 B	08/12/99
				CN	1186458 A	01/07/98
				DE	69609414 D,T	08/03/01
				EP	0824381 A,B	25/02/98
				JP	3016870 B	06/03/00
				JP	10511528 T	04/11/98
				US	5642015 A	24/06/97
US	5977685	A	02/11/99	JP	3026066 B	27/03/00
				JP	8335726 A	17/12/96

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DK 01/00719

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b>		
IPC7: H02N 1/00, B81B 3/00 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b>		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
IPC7: H01L, H02N, B81B		
Recherte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
WPI DATA, EPO INTERNAL		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 9634701 A1 (THE UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA), 7 November 1996 (07.11.96), Figur 4, Zusammenfassung	1-10
A	US 5977685 A (Y. KURITA ET AL.), 2 November 1999 (02.11.99), Spalte 1, Zeile 33 - Spalte 2, Zeile 22, Figuren	1-10
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen. <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie.		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen: "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis der der Erfindung zugrundeliegenden Prinzipien oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
25 Januar 2002		15. 02. 02
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt		Bevollmächtigter Bediensteter
Telefaxnr.		Kerstin Waczinska/AE Telefonnr.



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DK 01/00719

Im Recherchenbericht angefurtes Patentedokument			Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO	9634701	A1	07/11/96	AU	5394596 A	21/11/96
				CA	2218876 A	07/11/96
				CN	1047107 B	08/12/99
				CN	1186458 A	01/07/98
				DE	69609414 D,T	08/03/01
				EP	0824381 A,B	25/02/98
				JP	3016870 B	06/03/00
				JP	10511528 T	04/11/98
US	5642015 A	24/06/97				
-----						
US	5977685	A	02/11/99	JP	3026066 B	27/03/00
				JP	8335726 A	17/12/96
-----						